

本資料は2016年11月27日付で技術諮問委員会より提出された報告書を原子力リスク研究センターにて仮訳したものです。正式な報告書は英文版の原文のみとなりますのでご注意ください。

原子力リスク研究センター 技術諮問委員会  
一般財団法人 電力中央研究所  
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

2016年11月27日

ジョージ・アポストラキス博士  
一般財団法人 電力中央研究所  
原子力リスク研究センター所長  
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

件名： 津波リスク評価研究の現状に関する中間報告

アポストラキス博士

2016年11月7日～11日に開かれた原子力リスク研究センター（NRRC）技術諮問委員会の第6回会議で、NRRC職員は、津波ハザードおよびフラジリティ評価に関連する研究活動案の概要を説明した。2件のプレゼンテーションで、研究戦略と全般的な手法に関する概括的な説明が行われた。職員は、今回の説明の目的は、現在考えている研究の検討スコープや取組み方針について、何か足りない点がないかという観点でTACからのフィードバックを得ることであると説明した。ここでの結論および提言は、会議中に提示された資料および限られた時間での職員とのやりとりで得られた情報のみに基づいたものである。

## 結論と提言

1. 津波を生じる現象を調査し、被害を及ぼす可能性がある津波の頻度を推定し、津波による直接的および間接的な影響に対するプラント応答を評価することによって、津波によってもたらされる潜在的リスクを総合的かつ全体的に理解するというプロジェクトの目標は、重要であると共に妥当である。
2. 津波を引き起こす地震事象により損傷してしまう可能性がある防水バリア（防潮堤や水密扉など）の信頼性を調査する検討スコープ案は望ましいものである。これは、現時点での国際的な先行事例（state of practice）を超える研究分野である。土台にできるような先行研究がほとんどないため、構造系の専門家とも十分に検討、審議して作業を進め、範囲を明確に定めて、現実的かつ技術的に妥当な結果を出すことが重要である。
3. サイト固有の津波ハザードレベルに応じて、段階的に精緻な分析を取り入れていくとする段階的分析アプローチは、リスク評価分野での最新動向と整合の取れ

たものである。ただし、研究チームは、津波ハザードに含まれる不確実さを考慮して、段階的分析のスクリーニング基準をどのように策定し、適用するかを再検討する必要がある。

4. プレゼンテーション資料や職員との議論を通じて得られた、限られた詳細情報に基づき、サイト固有の脆弱性に関する以下の事項について疑問を持った。
  - 潜在的なすべての浸水伝播経路の損傷確率が一貫して評価されるかどうか
  - 津波事象によって間接的にもたらされる影響が十分に検討されるか
5. 地震で誘発される津波によって生じるサイト固有の潜在的リスクをよりよく理解するまでの間は、初期段階の研究作業や確率論的リスク評価（PRA）モデルにおいて、地震と津波の影響が時間差を経て生じるという事象を考慮しようとすることは推奨しない。
6. 研究チームは、地震で誘発される津波の複合効果がどのようにPRAモデルで表現され、定量化されるかを決定する必要がある。複合ハザードの適用方法、それぞれの荷重に対する構造物および機器の脆弱性評価方法は、PRAモデル構築の枠組みに適合したものとする必要がある。

## 背景

津波は、炉心崩壊熱除去、格納機能、使用済燃料冷却に必要な構造物、系統、機器（SSC）を損傷することにより、原子力発電所の安全性に影響を及ぼす。津波ハザードにさらされる可能性があるすべての原子力発電所は、SSCを保護するように設計された障壁と対策を導入している。これらの防御対策がすべての潜在的脆弱性に十分対処しているかどうか評価し、津波リスクを許容可能なレベルに維持していると判断することは、包括的なリスク管理プログラムの重要な構成要素である。NRRC職員は、津波ハザードの体系的かつ確率論的評価のための技術基盤を確立するとともに分析ツールを提供するための研究を実施することを計画している。

## 議論

全体として、提供された資料およびNRRC職員との議論から、提案された研究が津波リスクの評価に関するしっかりした基礎をもたらすことが分かった。津波ハザードPRAを構築する戦略は、他の外部ハザードに関するPRA評価の先行事例（state of practice）におおむね一致する。地震で誘発される津波による複合的損傷のリスクを評価するために提案された手法は先行事例を超えるものである。以下の議論およびそれに続く提言は、提案された研究を高度化するために提示されている。

## 分析の程度を定めるための段階的アプローチ

提案された手法は、サイト固有の津波ハザードの頻度と重篤度に応じて、津波リスクを評価するための段階的アプローチを採用している。段階的アプローチによって、津波ハザードがそれほど厳しくないサイトでは保守的な簡易評価が行われ、津波ハ

ガードが最も厳しいサイトでは最も詳細な評価が行われる。このアプローチは妥当であり、一般的なPRA慣行に一致する。

この段階的アプローチの適用にあたって提案されたスクリーニング基準は、サイトの防潮堤を乗り越える津波の平均発生頻度に基づく。どのサイトの津波ハザードにもかなりの不確実さがあるため、超過頻度の平均値を取ることは、このようなスクリーニングプロセスには十分でないことがある。これは、サイト別の分析において、被害を及ぼす波高が名目上の平均値スクリーニング基準より頻繁に起こることが判明した場合、特に該当する。そのため、より完全に不確実さを検討すると、損傷評価をどこまで詳細に行うかについての意思決定に影響が生じる可能性がある。隣り合う評価カテゴリーの境目のスクリーニング値に近い数字となるサイトで、こういった検討が重要になると考えられる。

研究チームは、津波ハザードの不確実さを考慮に置いて、スクリーニング基準をどのように策定し、適用すべきかを検討する必要がある。たとえば、スクリーニング基準を決める際には、平均超過頻度のみに依存するよりも、ハザードが、ある一定の重篤度を超えないというそれなりの確信を持てるかどうか、という点を考慮に入れることが適切かもしれない。

### 潜在的な浸水伝搬経路および影響分析

津波PRA手法のプレゼンテーションおよびNRRC職員との議論では、すべての潜在的な浸水伝搬経路の損傷確率が一貫して評価されているかどうか、十分に確信するに至らなかった。たとえば、防水シールの損傷（偶発的、もしくは津波で誘発される背圧上昇によるもの）に伴う浸水伝搬経路は、十分な技術的根拠なしに除外されているように見える。さらに、津波によって生じる大量のがれき（ビニール袋、海藻、近隣の工業または貯蔵設備から流出した油など）による冷却水取水口スクリーンの詰まりやプラント内の熱交換器への付着など、津波事象から間接的に生じる影響が十分に検討されるかどうかについても不明であった。

### 地震に伴う津波における津波到達時間の取り扱い

提案された研究では、地震の揺れがサイトを襲ってから津波がサイトに到達するまでの時間的遅れを明示的に考慮するための方法と補助モデルを開発することを予定している。津波がサイトに到達する時間は、震源位置、マグニチュード、サイトに面する海底の地形などに応じて不確実さを伴う。一方、地震事象の継続時間は通常、比較的短い。これらの時間差について明示的に考慮するには多大な労力が必要となるが、リスクに対する最も重要な寄与要因という点では、特段新たな知見がもたらされない可能性がある。実際、頻度や影響の観点できわめて重要である場合には、特定の重大リスクのシナリオにおけるPRAモデルにおいて、時間の要素を取り入れて精緻化されることもある。しかし、そのような精緻化は、シナリオ固有のリスク要因が特定され、十分に理解された後に、はじめて適用される。

以上の検討をふまえ、この分野での初期段階の研究作業では、地震および津波影響の相対的時間差を組み入れようと試みるべきではない。複合ハザードを導き出すた

めに使用できる方法とモデルを先に開発してから、サイト固有の脆弱性を一貫して評価し、PRAモデルにおいて地震と津波の重ね合わせによる損傷を表現することが最も重要である。

### PRAモデルにおける地震と津波による損傷の統合

これは困難な作業であり、解決できれば、現在のPRAの先行事例（state of practice）の拡充につながる。複合的な地震および津波ハザードを分析し、複合荷重をふまえてサイト固有の脆弱性を評価し、PRAモデルですべての損傷による影響を定量化するという、一貫した方法を編み出すことは重要な課題である。経験上、どのようにPRAで結果を使用するかを先に理解してから、これらの複雑な問題の補助解析を構築することが有効であることが多い。そのため、この研究におけるその要素を早い段階で見極めることを優先する必要がある。

研究チームは、地震で誘発される津波の複合効果がどのようにPRAモデルで表現され、定量化されるかを決定する必要がある。複合的な地震および津波ハザードの検討方法、およびそれぞれの荷重に対する構造物および機器の脆弱性評価方法は、PRAモデル構築の枠組みに適合したものとする。今回の会議では、これらのハザードおよび脆弱性評価における一般的な概念構成について簡単に話し合った。NRRC職員がこの重要な研究トピックに関する方法とモデルを開発し、精緻化するのに合わせて、引き続き議論を進めていきたい。

敬具

ジョン・W・ステットカー（本人署名）  
委員長

参考資料  
記載略